

Informe sobre la estabilidad de las bóvedas y el sistema de contrarresto de la iglesia de Melón (Ourense)

por:

Santiago Huerta Fernández

colaboradora:

Paula Fuentes González

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

en base al levantamiento realizado por:

Rosa Ana Guerra Pestonit

DEPARTAMENTO DE ENXEÑERÍA AGROFORESTAL
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Xunta de Galicia
Consellería de Cultura e Deporte
Dirección Xeral de Patrimonio Cultural

Madrid, semptiembre de 2010

Índice

1. Introducción: Objetivo del informe	1
2. Resumen de la historia de la iglesia y monasterio de Melón	1
3. Marco teórico: enfoque del equilibrio de Heyman	2
3.1 El material: hipótesis del análisis límite	2
3.2 Condición de estabilidad; seguridad	3
3.3 Teorema Fundamental; límite inferior del coeficiente de seguridad	3
3.4 Movimientos y grietas	4
4. Descripción de la iglesia y localización de los fallos	4
4.1 Bóveda del crucero	4
4.2 Machón lateral de la bóveda del coro	10
4.3 Machón del claustro	16
5. La cubierta	16
6. Conclusiones	17
7. Bibliografía	18
8. Láminas	19

1. Introducción: Objetivo del informe

La iglesia de Melón está situada adyacente al antiguo monasterio cisterciense, hoy en ruinas. Desde 2003 se trabaja en el acondicionamiento de la ruina del monasterio para que sea visitable. Durante este tiempo ha habido dos sucesos cuya explicación y valoración es el objetivo del presente informe:

- 1) La caída de un nervio combado de la bóveda de la iglesia (láms. 9-13)
- 2) El hundimiento parcial del paramento forntal del machón de fábrica adosado al lateral de la iglesia (láms. 1-6)

Los objetivos son:

En el caso del nervio se trata de conocer las causas del hundimiento y detallar el alcance de las intervenciones en la bóveda destinadas a garantizar su seguridad.

En el caso del machón ya estaba en proyecto su desmontaje antes del hundimiento parcial. Se trata de averiguar la causa del fallo y si es posible proceder a su desmontaje para recuperar esa esquina del claustro.

Las observaciones y estudios relativos a los problemas citados comenzaron, de hecho, hacia 2004, cuando se realizaron las primeras visitas preliminares. El proyecto en curso, desde 2009, de rehabilitación y consolidación de la ruina para hacerla visitable, ha originado a lo largo de 2009 y 2010 numerosas visitas que han puesto de manifiesto la necesidad de realizar un estudio detallado de ambos sucesos para evaluar la seguridad de la bóveda de la iglesia y la posibilidad de retirar el machón.

2. Resumen de la historia de la iglesia y monasterio de Melón

El Monasterio cisterciense de Santa María de Melón se encuentra en Ourense, en el límite con la provincia de Pontevedra. Del monasterio se conserva la iglesia, parte del Claustro Reglar y dos alas del Claustro de la Hospedería, además de otras dependencias entre ambos claustros.

La iglesia del Monasterio de Melón se terminó en torno al año 1230. Tiene planta de cruz latina. Tenía un cuerpo de tres naves con siete tramos desaparecido a finales del siglo XIX, cuando un rayo derribó parte de las naves. Actualmente sólo se conserva el primer tramo. Cuenta con un transepto marcado en planta y alzado. La cabecera tiene una girola en la que se abren tres ábsides. A partir del siglo XVI se realizan diversas modificaciones. El sistema de abovedamiento original se modifica, y se realizan nuevas bóvedas en el crucero, el brazo sur del transepto y en el primer tramo de la nave. Estas bóvedas datan del tercer cuarto del siglo XVI. La bóveda del crucero es una bóveda de crucería estrellada, con 17 claves con decoración plana. La del

brazo sur del crucero es algo más sencilla, tiene 5 claves y no presenta nervios curvos. Esta bóveda unifica los dos tramos del crucero. Por último, la bóveda que cubre el primer tramo de la nave es la más sencilla, también tiene 5 claves planas y cubre un espacio rectangular, en lugar de cuadrangular. Se desconoce cuál era el abovedamiento original. Se conserva sin embargo las bóvedas originales del brazo norte del crucero, dos bóvedas de crucería cuatrimpartitas. Entre finales del siglo XVI y principios del XVII se agrandan los tramos testeros del transepto y se abren nuevas puertas.

El resto del monasterio es posterior a la iglesia, construido entre 1506 y 1835, y no se conserva casi nada de lo que fue el monasterio medieval. El Claustro Reglar se construye fundamentalmente entre el siglo XVI y principios del XVII. Parece ser que esta zona, junto a la iglesia fue la más afectada por el terremoto de Lisboa (1755). Parece ser que fue a consecuencia de los daños producidos por este terremoto, cuando se construyó el contrafuerte que aparece en la esquina NE del claustro, junto al brazo sur del transepto de la iglesia.

3. Marco teórico: enfoque del equilibrio de Heyman

Para contestar a las preguntas planteadas en el presente informe, que afectan al comportamiento estructural de la iglesia, es preciso utilizar la teoría de estructuras. La teoría convencional de estructuras de barras no es de aplicación a las estructuras históricas de fábrica. Al realizar los estudios se ha aplicado la teoría del Análisis Límite de Estructuras de Fábrica, tal y como la ha desarrollado fundamentalmente Heyman en los últimos años —véase Heyman (1995a y 1995b). En este apartado se resumirán los principios e ideas fundamentales.

3.1 El material: hipótesis del análisis límite

Se considera la estructura de fábrica formada por un material rígido-unilateral, que resiste compresiones pero no resiste tracciones. Es decir, imaginamos la fábrica como un conjunto de bloques indeformables en contacto seco y directo que se sostienen por su propio peso. Supondremos también que las tensiones son bajas, no habiendo peligro de fallo por resistencia, y que el rozamiento entre las piedras es suficientemente alto como para impedir su deslizamiento. Estas tres hipótesis dan lugar a los Principios del Análisis Límite de las Fábricas:

- (1) la fábrica presenta una resistencia a compresión infinita;
- (2) la fábrica tiene una resistencia a tracción nula;
- (3) el fallo por deslizamiento es imposible.

La hipótesis (1) va ligeramente en contra de seguridad y se comprobará mediante un cálculo numérico. La suposición (2) va, evidentemente, a favor de seguridad. Finalmente, la hipótesis (3), vuelve a estar en contra de seguridad, pero los casos de deslizamiento entre piedras son extremadamente raros (suelen estar asociados a movimientos sísmicos).

3.2 Condición de estabilidad; seguridad

La condición de estabilidad de una fábrica construida con un material que cumpla los principios anteriores exige que la trayectoria de las fuerzas, la «línea de empujes», esté contenida dentro de la estructura; esto es, para cada sección hipotética de la estructura la resultante de las fuerzas debe estar contenida en su interior.

La seguridad está determinada, en cada sección, por la distancia relativa de la resultante de tensiones (empuje) a sus bordes. El coeficiente de seguridad es geométrico y definirá la posición que dicho empuje no debe sobrepasar dentro de cada sección. Los coeficientes de seguridad dependen del tipo y uso de la estructura, y tienen un carácter empírico. En particular, para el caso de edificios, son distintos para arcos y bóvedas y para estribos; el coeficiente de éstos últimos es mucho más restrictivo, por los motivos que se discutirán en el apartado dedicado a la seguridad del sistema de contrarresto.

3.3 Teorema Fundamental; límite inferior del coeficiente de seguridad

Si la estructura es hiperestática, como es habitual, será posible encontrar infinitas líneas de empujes contenidas dentro de la fábrica, que corresponden a las infinitas situaciones de equilibrio posibles (la línea de empujes no es más que una representación gráfica de las ecuaciones de equilibrio).

Si se cumplen los principios del análisis límite enunciados antes se puede demostrar —véase Heyman (1995, 1999)— el siguiente Teorema Fundamental del Análisis Límite (Teorema de la Seguridad o del Límite Inferior): *Dada una estructura, si es posible encontrar una situación de equilibrio compatible con las cargas que no viole la condición de límite del material (esto es, que no aparezcan tracciones) la estructura no colapsará. Aplicado a las fábricas: si es posible dibujar una línea de empujes contenida dentro de la estructura la estructura no se hundirá.* La potencia del Teorema radica en que la línea de empujes, es decir, la situación de equilibrio, puede ser elegida libremente. Elegida una línea, podremos aplicar las condiciones de seguridad a cada una de las secciones que atraviesa y obtener, de esta forma, un límite inferior para el coeficiente de seguridad geométrico: sabemos que la estructura tiene al menos ese coeficiente de seguridad (en general, sería posible encontrar una línea de empujes que diera una situación más favorable).

El problema de la seguridad de las fábricas es, pues, un problema de estabilidad. De los tres criterios fundamentales que debe cumplir una estructura (resistencia, rigidez y estabilidad), es éste último el que gobierna el proyecto de las fábricas: las tensiones son bajas y las deformaciones pequeñas. El criterio de estabilidad conduce a una visión de las estructuras de fábrica basada firmemente en la geometría: es la forma la que posibilita que las trayectorias de esfuerzos estén siempre dentro de los límites de la fábrica (para una exposición clara y muy detallada de este enfoque, véase Heyman, 1999; Huerta 2001).

3.4 Movimientos y grietas

Las grietas son algo natural en un material que no resiste tracciones. De hecho, los agrietamientos son la única forma de adaptarse a pequeñas variaciones en las condiciones de contorno (por ejemplo, a un pequeño desplazamiento de los estribos, etc.). Las grietas dividen la estructura en un conjunto «articulado» de bloques que se mueve y adapta a las nuevas condiciones de contorno. A cada movimiento corresponde un agrietamiento distinto y una estructura puede presentar a lo largo de su historia distintos agrietamientos, que corresponden a distintas posiciones de las líneas de empujes (distintas soluciones de las ecuaciones de equilibrio). Sin embargo, el Teorema Fundamental nos asegura que, si encontramos «un sistema de líneas de empujes» (esto es una cierta situación de equilibrio) dentro de la fábrica, aunque pueden moverse bruscamente, éstas nunca se saldrán de los límites de la fábrica con lo que la estabilidad está asegurada.

4. Descripción de la iglesia y localización de los fallos

En la figura 1 se adjunta un plano de la iglesia y parte de la ruina del monasterio. En la figura 2 se representa la planta de la iglesia. La bóveda objeto de estudio es la del crucero, marcada con **B**; el machón se ha marcado con **M**. En la planta de la figura 2 se ha corregido la posición de la pared de la nave hundida de la iglesia, **p**, que estaba mal dibujada en el plano original. Los cuerpos adyacentes al tramo del coro **C₁** y **C₂** son macizos y están rellenos de escombros de la nave caída de la iglesia. Esto se ha podido apreciar en el **C₂** por un hueco de la escalera de la torre **T**, y en el **C₁** por una cata realizada en el paramento (lám. 7). El machón **M** también está macizado de escombros (láms. 3, 4)

4.1 Bóveda del crucero

La bóveda del crucero es una típica bóveda de crucería del gótico tardío español, con terceletes, rampantes y combados. Nervios y plementería son de granito de baja calidad. Hay una clave principal y dieciséis claves secundarias. La bóveda debió sufrir cuando se hundió la nave de la iglesia en el siglo XIX. En cualquier caso, presenta evidencias de reparaciones sucesivas, como es habitual en cualquier estructura que lleva siglos en pie. En la última reparación, de fecha desconocida, se rejuntaron las grietas de los nervios, entre nervios y claves, así como las grietas de separación entre plementería y nervios, con mortero de cal. Hay evidencias del empleo puntual de mortero de cemento, que debe corresponder a una intervención posterior. A pesar del hundimiento de un combado, la bóveda está en buen estado

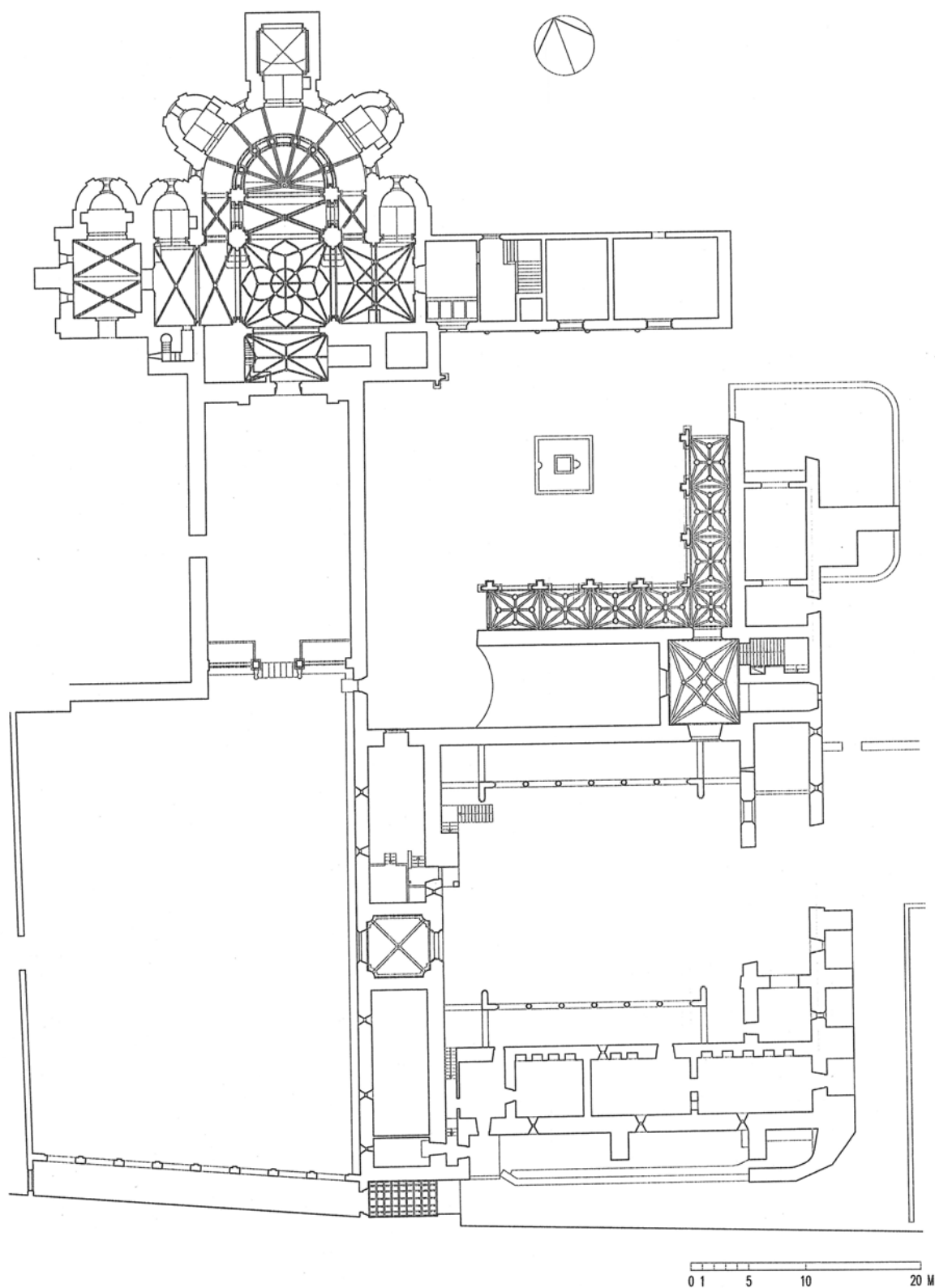


Figura 1
Planta de la iglesia y monasterio de Melón (Xunta de Galicia, Consellería de Cultura 1997)

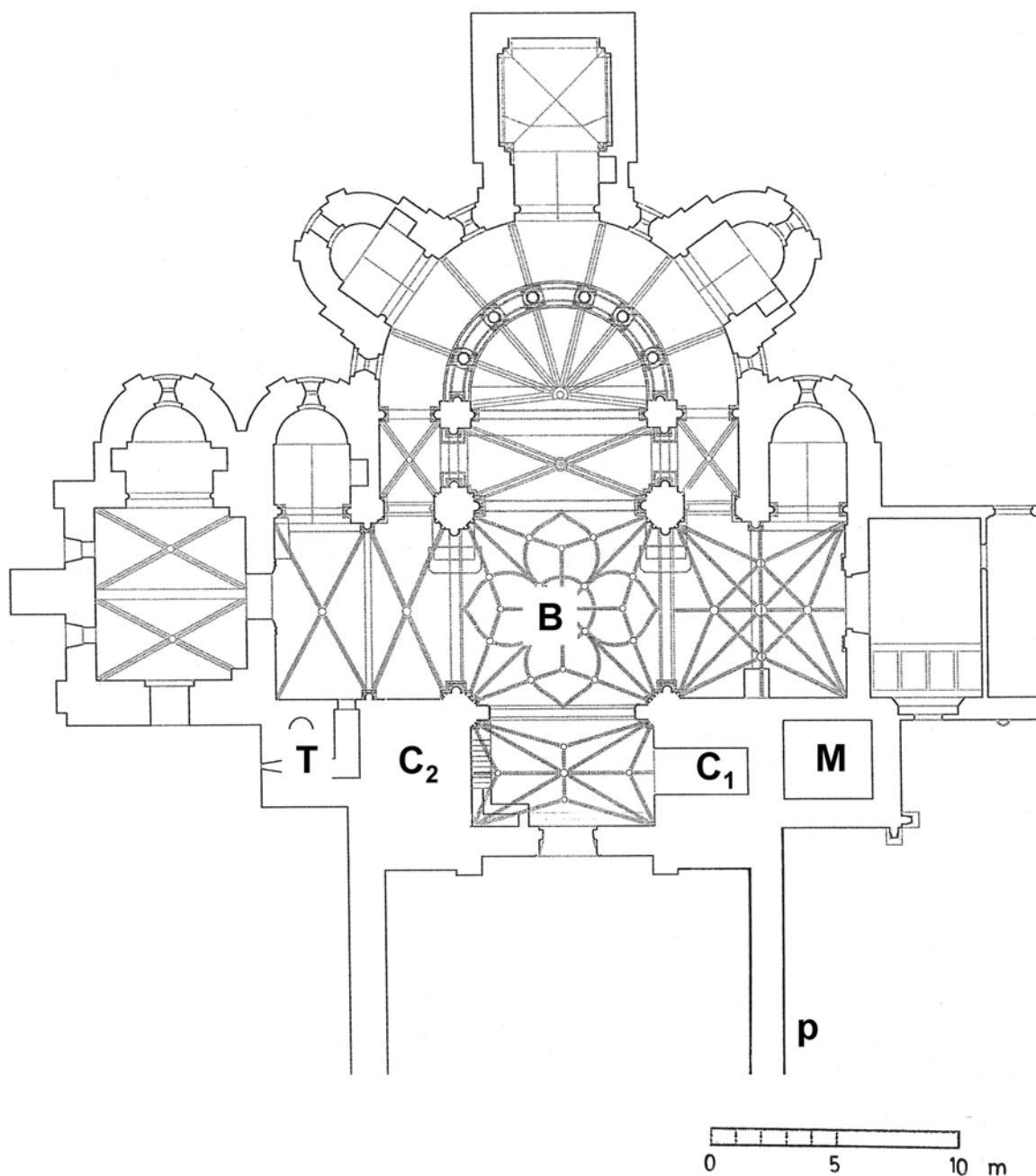


Figura 2
Planta de la iglesia de Melón (Xunta de Galicia, Conselleria de Cultura 1997)

y no presenta problemas de estabilidad general. No obstante hay problemas locales (como el que ocasionó la caída del combado) que merecen estudio, pues, si bien la caída del nervio no ha afectado a la seguridad de la bóveda, esta caída (u otras futuras) sí afectan a la seguridad de los feligreses y visitantes de la iglesia.

En la figura 3 se ha representado el esquema de la bóveda (lám. 9). Los defectos principales se concentran en los encuentros de los combados en los “pies de gallo” **g** y en las claves secundarias **c**. El nervio caído se ha designado por **n**.

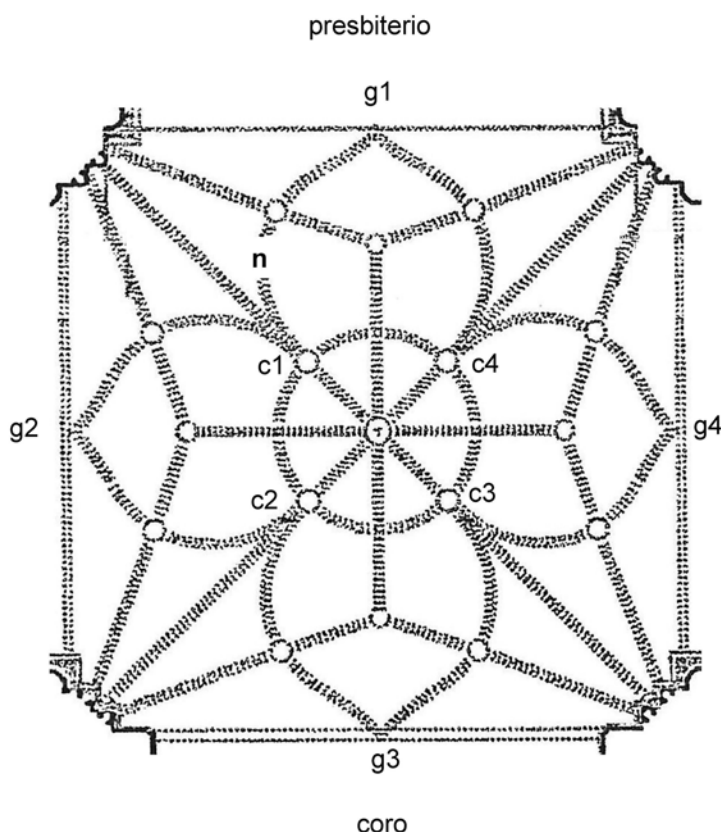


Figura 3

Esquema de la bóveda del crucero, indicando pies de gallo **g**, claves secundarias centrales **c** y nervio caído **n**.

4.1.1 Nervios combados. Encuentro con claves “c”

El encuentro de los nervios combados con las claves **c** es, sencillamente, chapucero (lám. 10). Esto se puede deber a un cambio en la traza, que preveía nervios rectos y se dispusieron finalmente combados, realizando una adaptación imperfecta. También puede ser que, sencillamente, el maestro no tuviera la pericia suficiente. En cualquier caso, el encuentro de los tres nervios que acometen a las claves **c** (el tercelete central y los dos combados a los lados) se realiza con dovelas independientes y los combados apoyan lateralmente y de forma precaria contra el tercelete, como puede apreciarse en la foto de la figura 4.

Los combados que acometen a las claves **c** están compuestos de tres dovelas (las juntas se han marcado en uno de ellos). La estabilidad del combado depende de la posibilidad de encontrar una línea de empujes en un plano vertical (carga gravitatoria) dentro del nervio. Esto

es imposible si el apoyo se produce de clave a clave, puesto que un plano vertical no puede estar contenido nunca por la curvatura, figura 5. Sin embargo, si la dovela de la clave **c** está bien asegurada, entonces la línea de empujes sólo debe estar contenida dentro de las otras dos y el empuje se transmite al tercelete y a la plementería. El problema es que el encuentro de los combados con los terceletes en las claves **c** es un encuentro difícil que se ha ejecutado de forma chapucera. El apoyo no es plano y la degradación del mortero o un ligero movimiento de la bóveda, pueden conducir a una cierta holgura con el consiguiente agrietamiento. Esto puede apreciarse en el combado de la lámina 15 que está a punto de caer. Para evitar esta posible holgura, en una bóveda de la catedral de Segovia el tercelete hace cuerpo con la dovela de uno de los combados, asegurando enormemente la unión (lám. 14).

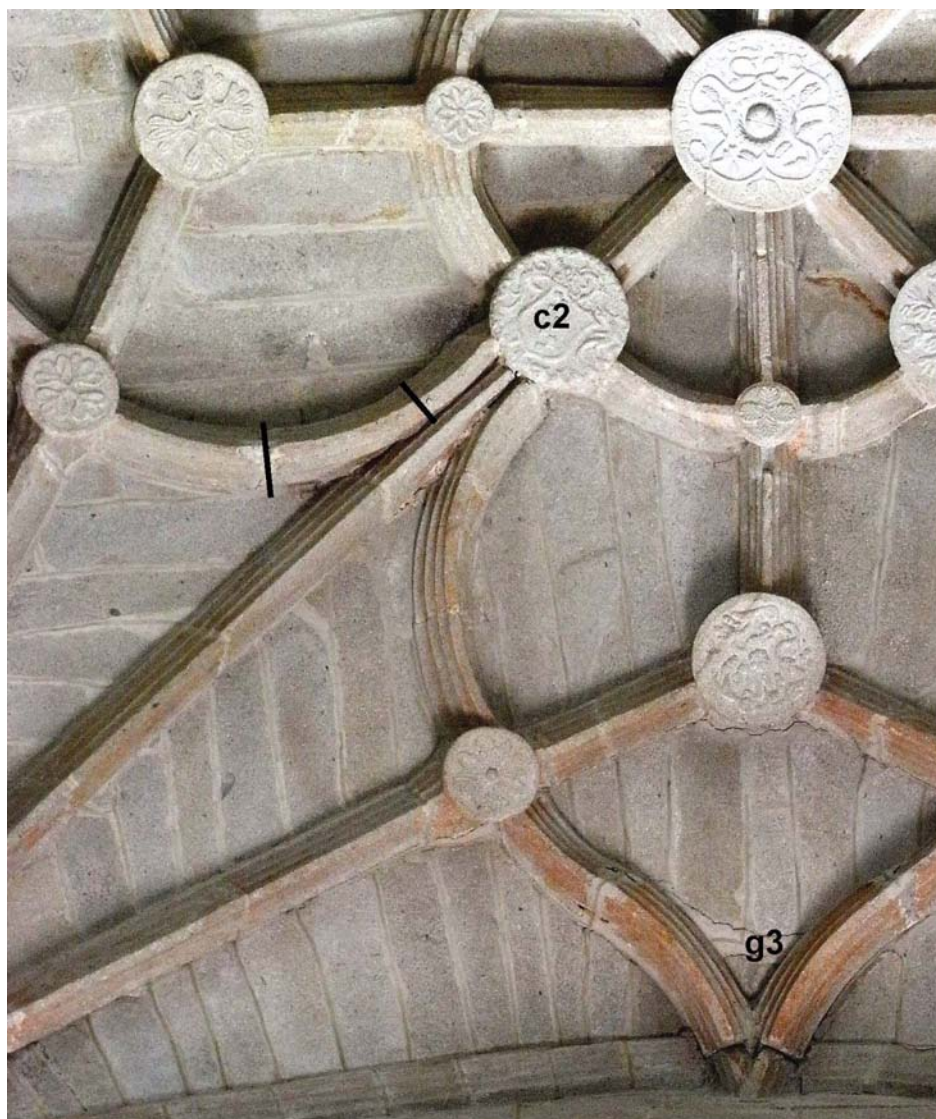


Figura 4

Detalle de la construcción de los nervios de la bóveda. Nótese que los combados están formados por tres dovelas

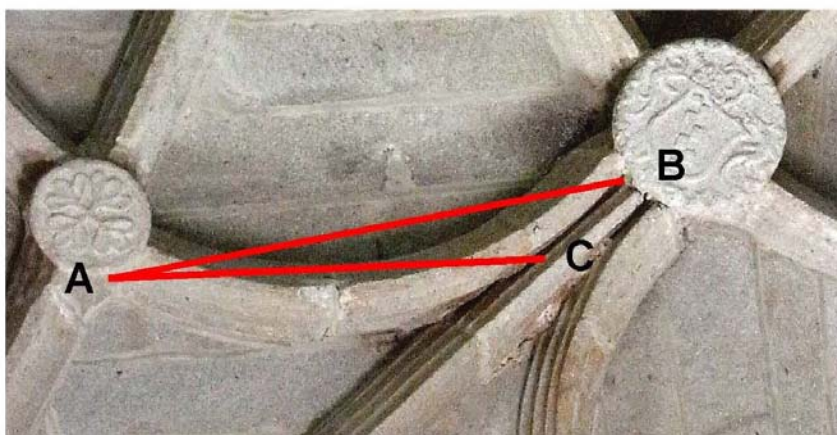


Figura 5

Detalle de la figura 4. El combado de tres dovelas no es estable (línea AB). Si apoya lateralmente contra el tercelete, se vuelve estable, pues la línea AC está contenida dentro del nervio

Posiblemente la mejor solución, y la más económica, es solidarizar las tres dovelas del tercelete y los dos combados, para formar una “piedra” única. Esto se puede hacer, sencillamente, con dos cosidos paralelos al plano superior de los nervios situados a $1/3$ de la altura del nervio, a partir de la plementería. En la figura 6 se indica la situación aproximada de estos cosidos. La ventaja de esta intervención es que no impide un posible agrietamiento de los nervios y, en consecuencia la bóveda mantiene su “plasticidad”, esto es, su capacidad de acomodación a pequeñas variaciones de las condiciones de contorno.



Figura 6

Disposición esquemática de cosidos para unir las dovelas de los combados y el tercelete, adyacentes a la clave

4.1.2 Nervios combados. Encuentro con claves “g”

Los nervios combados que acometen a las claves **g** de los arcos formeros perimetrales (fig. 3), presentan agrietamientos, fracturas locales y deslizamientos en mayor o menor medida. La situación peor se produce en la clave **g3** (figura 4 y lám. 17). En este caso, el movimiento ha sido tan grande como para deformar la plementería. Estos nervios combados están formados por dos dovelas y acomodan sin dificultad líneas de empujes en su interior. Se adaptan formando una grieta en la junta central que, en alguna intervención anterior, tras taparla fue “asegurada” con grapas de hierro. El tratar de cerrar una grieta con una grapa metálica es una operación completamente inútil, en el mejor de los casos. Si la grieta quiere abrirse de nuevo, la grapa romperá la piedra. Finalmente, el hierro se puede oxidar y producir graves fracturas.

La intervención consiste en resanar, acuar y rejuntar en las claves **g1**, **g2** y **g4**, tratando de llevar, si es posible, los nervios a su sitio. En la clave **g3**, es preciso llevar los nervios a su sitio antes de acuar y rejuntar. Para esto hay que mover también la plementería, por lo que habría que acceder por la parte superior, realizando un agujero en la cubierta.

4.2 Machón lateral de la bóveda del coro

La iglesia tenía tres naves a partir del crucero hasta los pies. Al parecer estas tres naves se hundieron en el siglo XIX. Se desconocen el alcance y las causas concretas de un derrumbamiento de tal calibre.

Lo más probable es que los daños fueran tan grandes que se decidió que era más rentable demoler la nave y reducir la iglesia al crucero, que reconstruir las naves. Sea como fuere, se dejó sólo una bóveda del primer tramo (que ahora está sobre el coro), y las dos capillas laterales se macizaron con los escombros del derrumbe y demolición de las naves arruinadas. Estos macizos están señalados como **C₁** y **C₂** en la figura 7. Posiblemente, como precaución se construyeron los arcos de entibo **e₁** y **e₂**.

El relleno de escombros, sin aparejar, puede producir un empuje horizontal y en el brazo derecho del crucero (mirando al altar), el muro del macizo **C₁** muestra un abombamiento notable, con un total de unos 25 cm.

Por este motivo, se construyó primero un contrafuerte **cf** y, resultando insuficiente, se añadió un tercer arco de entibo **e₃**. Este arco no pudo resistir el empuje del relleno y se agrietó, reduciéndose el vano en unos 15 cm (figs. 8–10). El resultado es un levantamiento de la clave de unos 27 cm (figura 12).

Con posterioridad se taparon las grietas y se recreció y reparó el trasdós dejándolo horizontal. En la actualidad, el arco puede transmitir cualquier empuje horizontal a través del “pilar tumbado” que forma el trasdós de sillería (lám. 18). Se ha estudiado la deformación del arco y la deformación teórica, por formación de tres rótulas, coincide bastante bien con el arco deformado real, figura 11 y 12 (a). La línea de empuje máximo coincide también con bastante aproximación a la situación de las rótulas. El arco debió ser reparado y las grietas tapadas, como es natural.

Es posible que se produjera un abombamiento, o underrumbe parcial, en la parte inferior derecho del macizo **C₁** y por este motivo se añadió el machón **M**, que se relleno de escombros de la misma manera que los macizos laterales.

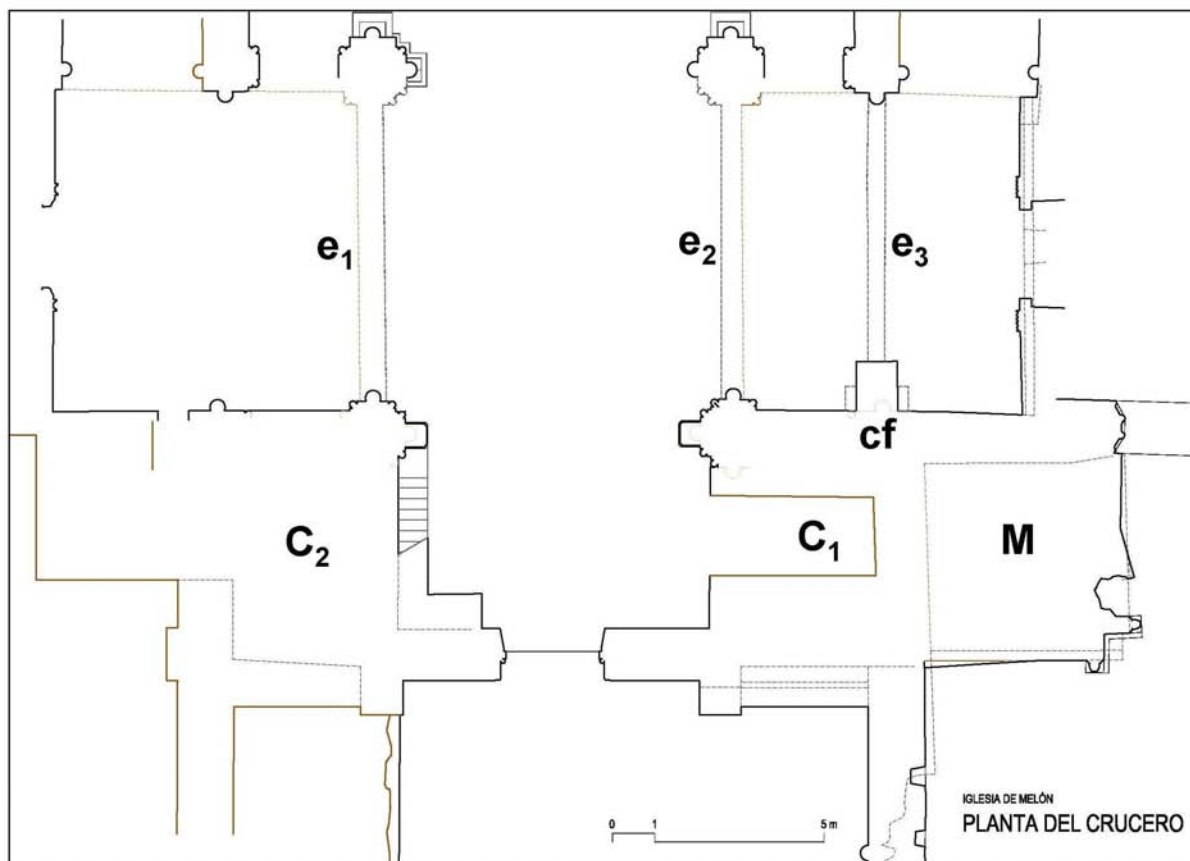


Figura 7
Levantamiento de la zona del crucero

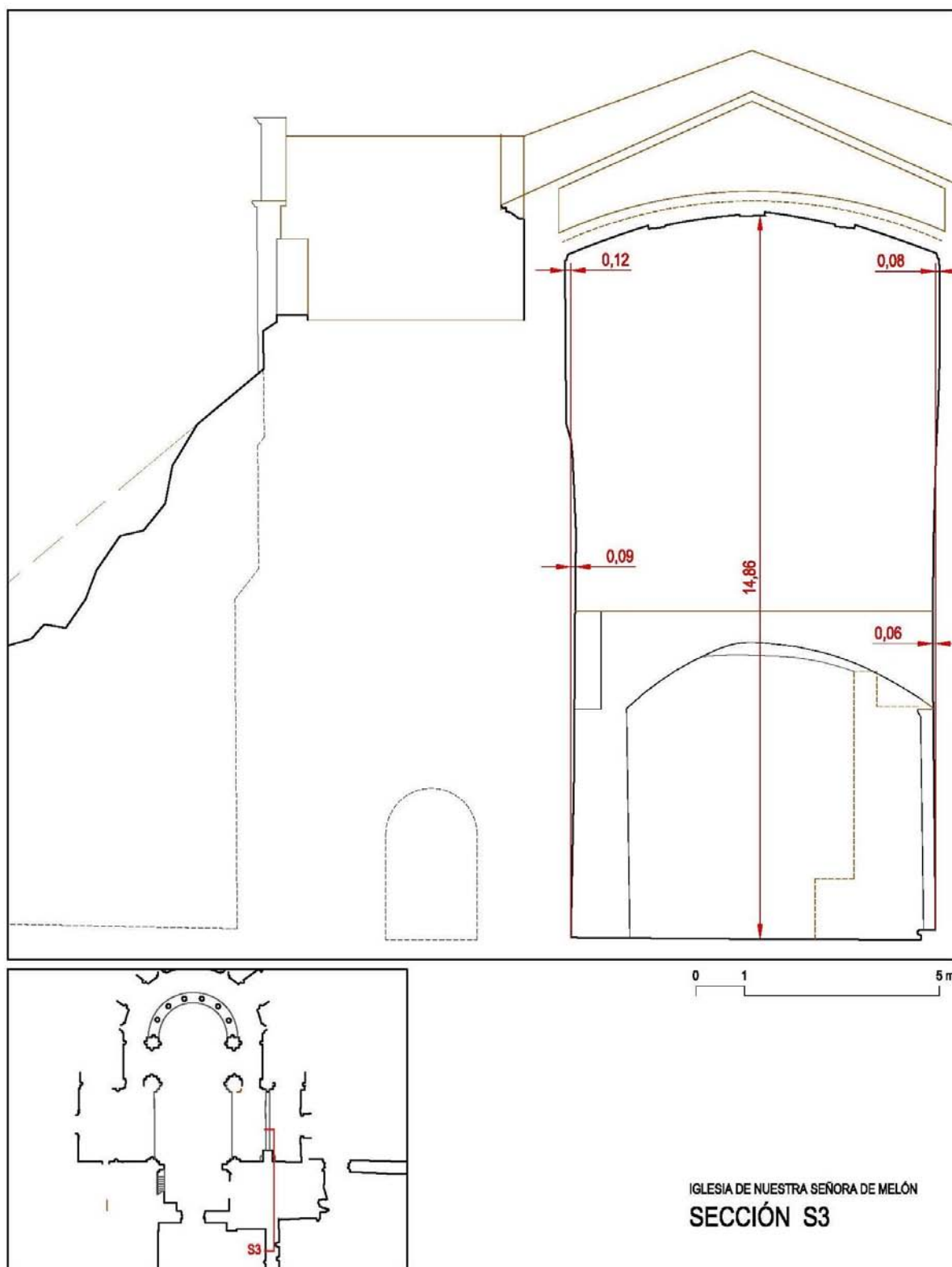


Figura 8
Sección por el macizo C_1 . Nótese el arco de entibo deformado e_3 .

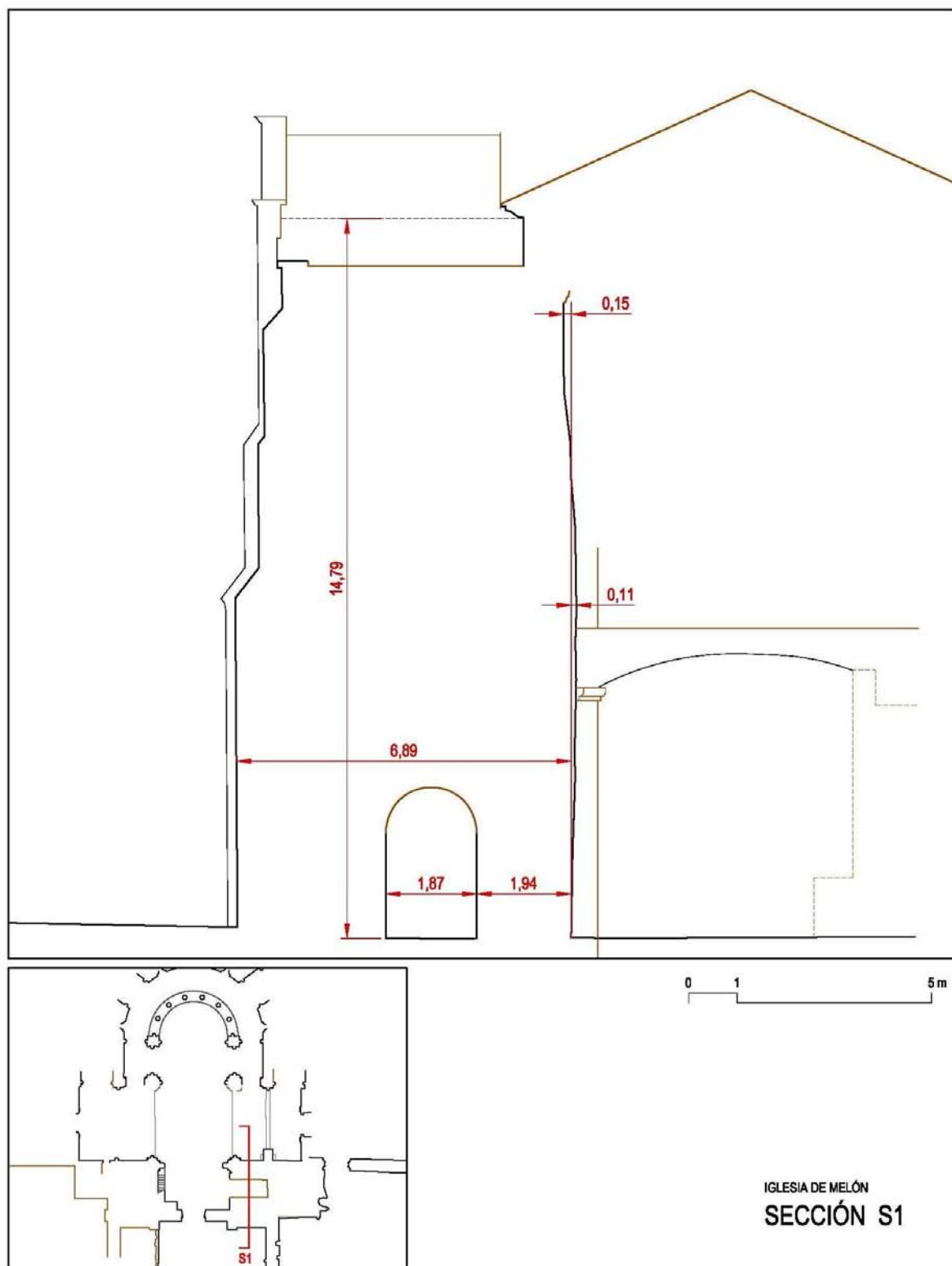


Figura 9
Sección por el macizo C_1 . Nótese el arco escarzano de entibo e_2

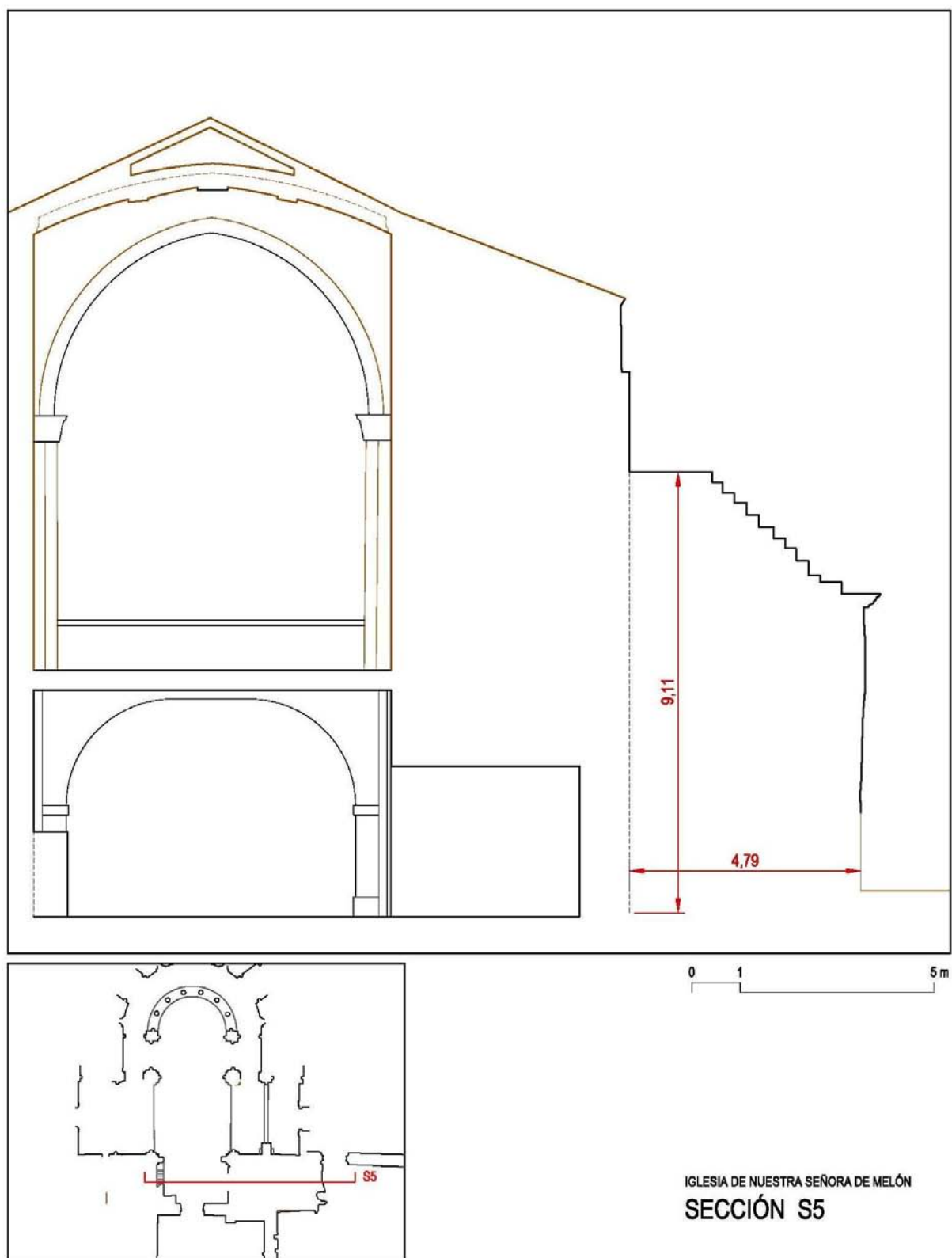
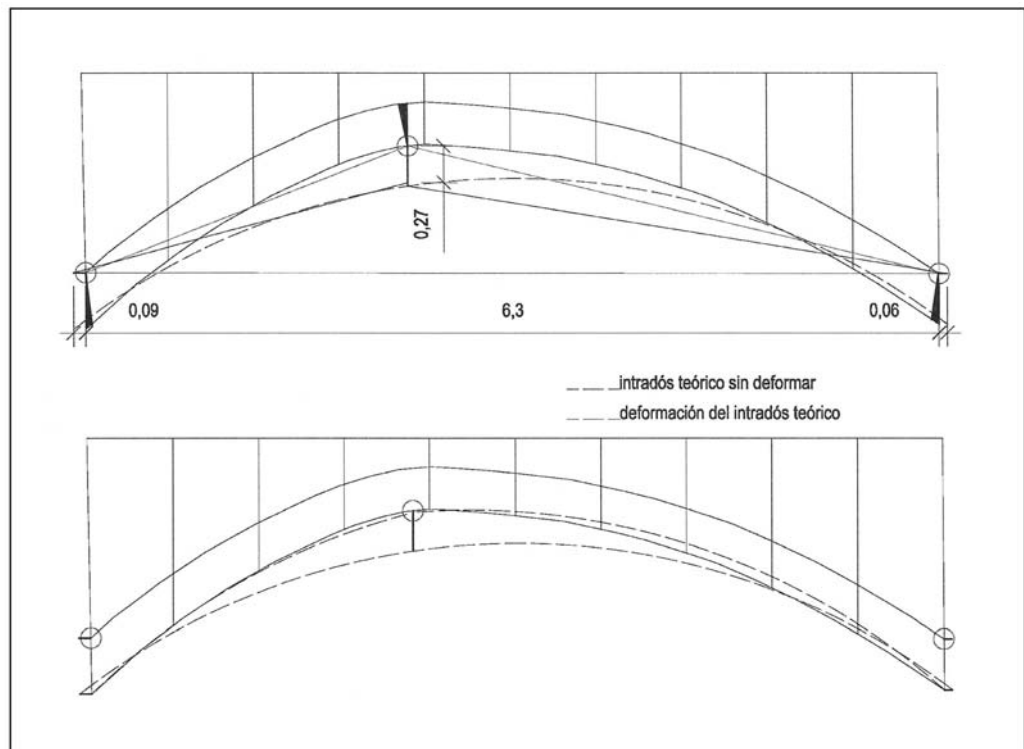


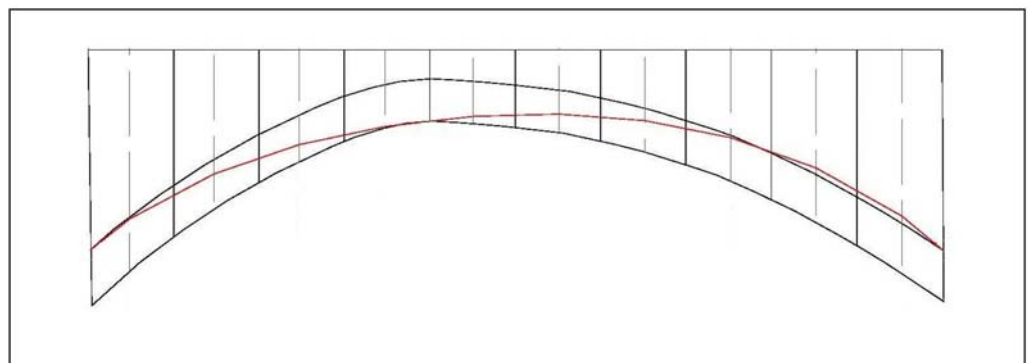
Figura 10
Sección por el macizo **C₁**. Nótese el arco del coro y el hueco del actual baptisterio



Figura 11
Vista desde el crucero de los arcos de entibo e_2 y e_3 (se ha superpuesto la deformada teórica)



(a)



(b)

Figura 12

4.3 Machón del claustro

Como se ha dicho, un posible abombamiento del macizo **C₁**, hizo que se adosara un machón de fábrica **M**. El machón se construyó aprovechando la esquina del claustro arruinado, levantando paramentos de sillería y rellenando de escombros (láms. 1-6, 20). Hasta hace un lustro, más o menos, el machón sólo presentaba una grieta diagonal en el lateral (lám. 2). Recientemente, se hundió parte del paramento frontal debido al empuje del relleno de escombros. Posiblemente las vibraciones inducidas por la obra alteraron el precario equilibrio interior. Un derrumbe parecido se produjo en una estancia rellena de escombros del extremo del claustro (lám. 8), que estaba cerca del paso de los camiones.

En el contexto del proceso de consolidación de la ruina del Monasterio que ahora se ejecuta, resulta deseable retirar el machón **M**. Se ha recomendado empezar su desmontaje desde arriba y desde grúa, para ver el aspecto del paramento del macizo **C₁**. Esta obra se ha iniciado ya (lám. 26).

En función de lo que aparezca, será preciso consolidar el relleno o no. Las opciones para la consolidación no son muchas. Las inyecciones en este tipo de rellenos son costosas y sus resultados imposibles de garantizar.

La opción más barata y eficaz sería la introducción de tirantes de acero inoxidable, anclados a chapas sobre el exterior de los muros. Por supuesto, la perforación se tiene que hacer sin introducir vibraciones en el relleno que podrían provocar nuevos derrumbes. Si no fuera posible evitar las vibraciones, habría que apejar los muros perimetrales antes de iniciar la perforación.

5. La cubierta

La cubierta original de madera fue sustituida en algún momento por una nueva, apoyada sobre un sistema de rasillones sobre tabiquillos palomeros (láms. 20-22). Esta solución fue muy popular en la posguerra. No es un buen sistema pues introduce mucho más peso sobre la bóveda y, además, la retícula de tabiquillos es extraordinariamente rígida. El trasdós de la bóveda es inaccesible, si hubiera que actuar sobre la bóveda, y, además, si los rasillones están enfoscados de mortero de cemento y el bajocubierta no está ventilado, se pueden producir condensaciones.

Las tejas se han recibido con mortero de cemento, y las variaciones térmicas han roto ya un buen número de ellas. Dada la importancia del monumento, en algún momento, sería deseable reponer la cubierta de madera, sobre armaduras que apoyan en los muros perimetrales, ventilada y accesible.

6. Conclusiones

Se resumen a continuación las conclusiones del informe y las medidas de intervención recomendadas:

BÓVEDA

- 1) La bóveda del crucero está en buen estado. No obstante, algunos de los nervios combados corren peligro de caer, como de hecho ya ha ocurrido. La causa es una deficiente unión de los nervios de las claves.
- 2) Sería preciso repasar todos los combados de la bóveda, resanando las juntas y acuñando y recolocando las dovelas de los nervios. Las dovelas de los nervios combados que acometen a las claves junto al tercelete, deben ser unidas mediante el cosido que se ha explicado más arriba.
- 3) Aunque la bóveda en su conjunto es estable, el riesgo de desprendimiento es real, y se deberían acometer las obras del apartado 2) con urgencia.

MACIZO LATERAL

- 4) El macizo lateral derecho (mirando al altar) a los pies del coro está relleno de escombros hasta una altura de, al menos 5 m en que se ha hecho un cata. El escombros no fue aparejado y empuja contra los paramentos y esto hizo necesario la colocación de un contrafuerte y un arco de entibo.
- 5) La situación en la actualidad parece estable, pero la colocación de un sistema de tirantes horizontales, anclados a chapas en el exterior de los paramentos, resolvería los posibles problemas. No parece una actuación urgente pero sería deseable.

MACHÓN DEL CLAUSTRO

- 6) El machón del claustro tiene también un relleno de escombros, cuyo empuje ha causado el derrumbe parcial del paramento frontal. El machón se debió colocar para prevenir el abombamiento del muro del macizo o, quizá, como consecuencia de algún derrumbe parcial en la parte inferior, hoy tapado por el machón.
- 7) El machón no es necesario para la estabilidad de las bóvedas de la iglesia. Se recomienda retirarlo con extrema precaución, empezando desde arriba y sometiendo el curso de los trabajos al resultado de las observaciones a medida que progresa el desmontaje.
- 8) Es posible que haya que colocar tirantes horizontales como los descritos en el apartado 5). No se puede saber hasta ver el estado de la fábrica que tapa el machón.

Todo lo cual afirmo y rubrico según mi leal saber y entender en Madrid, a 5 de septiembre de 2010.

Firmado:

Santiago Huerta Fernández

Profesor Titular del Departamento de Estructuras

Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid

7. Bibliografía

Heyman, J. 1983. Chronic Defects in Masonry Vaults: Sabouret's Cracks. *Monumentum*. Vol. 26: pp. 131-141 (trad. espa. en Heyman 1995, pp. 265-272).

Heyman, J. 1995. *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica*. Colección de ensayos. Editado por S. Huerta. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Heyman, J. 1999. *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera / CEHOPU.

Huerta Fernández, S. 2001a. «Mechanics of masonry vaults: The equilibrium approach» *Historical Constructions. Possibilities of numerical and experimental techniques. Proceedings of the 3rd. International Seminar. Guimaraes 7-9, November*, P. B. Lourenço and P. Roca, eds. Guimaraes: Universidade do Minho, pp. 47-69.

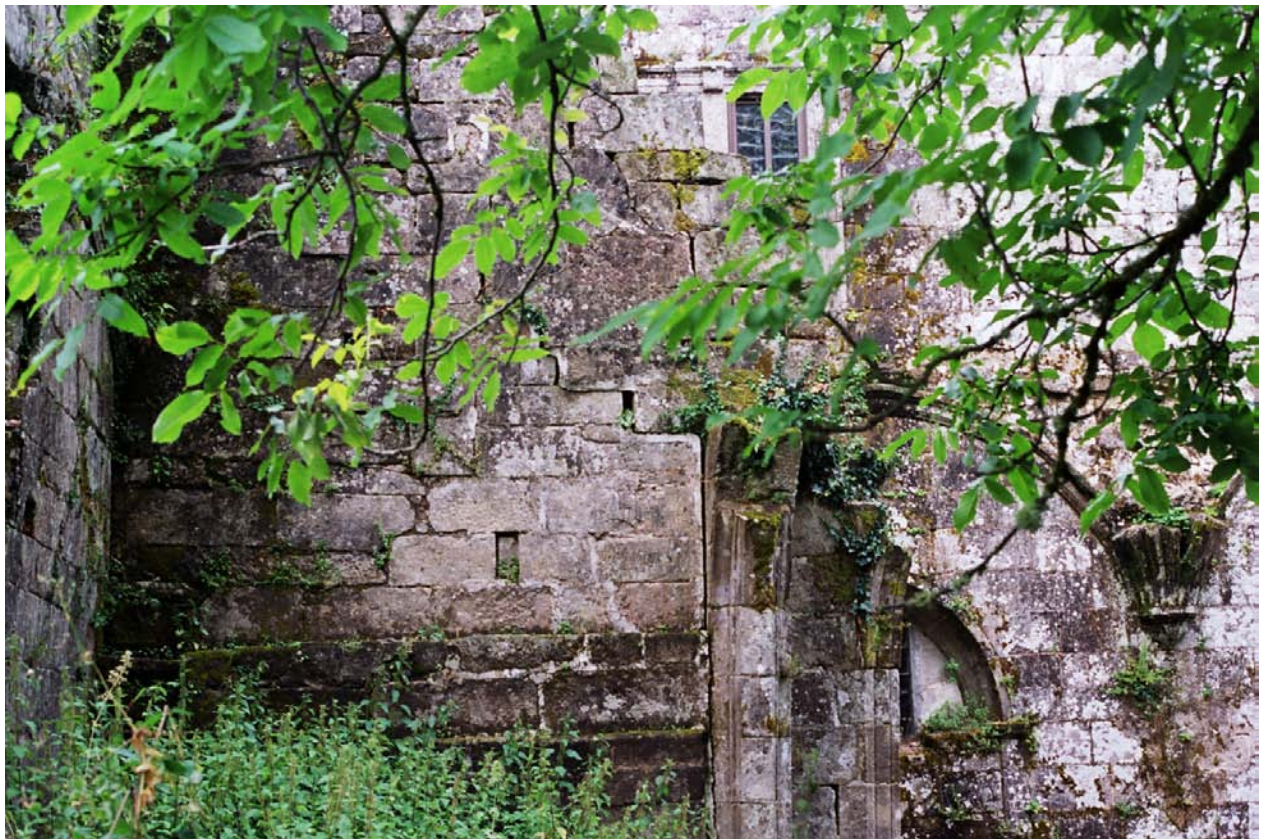
Huerta Fernández, Santiago. 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

8. Láminas

(Fotos de P. Fuentes, S. Huerta y R. Rodríguez)



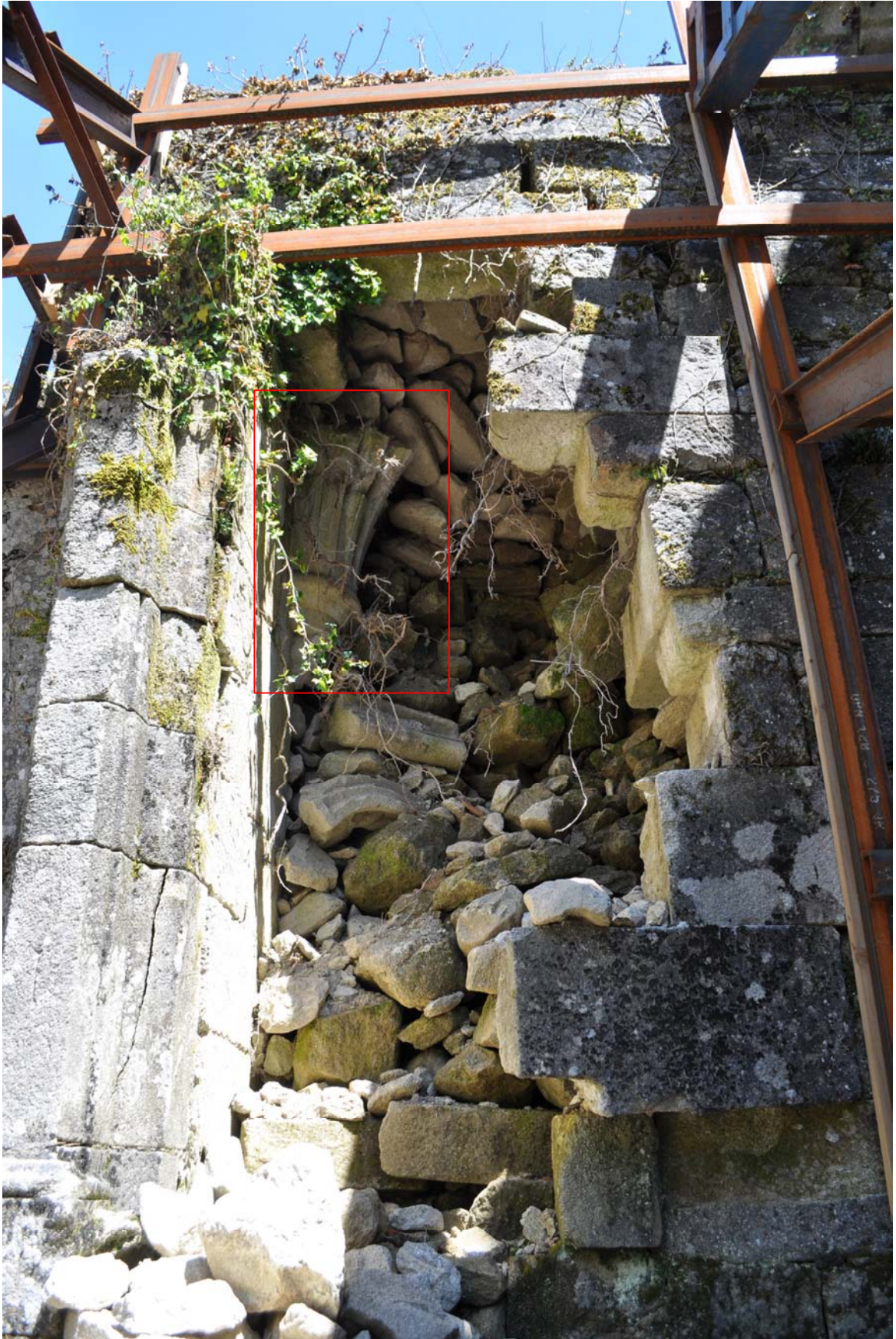
Estado del machón hacia 2004.



Machón hacia 2005. Arriba, vista de la parte superior. Abajo, vista lateral (con los enjarjes del muro al fondo), que muestra una grieta diagonal, que, en retrospectiva, ya avisaba del empuje del relleno de escombros.



Machón con el paramento hundido, antes y después de la reparación del antiguo muro de la iglesia.



Vista del relleno interior del machón tras el hundimiento del paramento. Pueden apreciarse restos del hundimiento de la nave. También se puede ver el enjarje de la bóveda del claustro hundido (recuadro).



Vista lateral del machón, mostrando la misma grieta diagonal que en el estado anterior al hundimiento del paramento frontal.



Desmontaje parcial de la cabeza del machón, mostrando relleno de cascote y tierra.

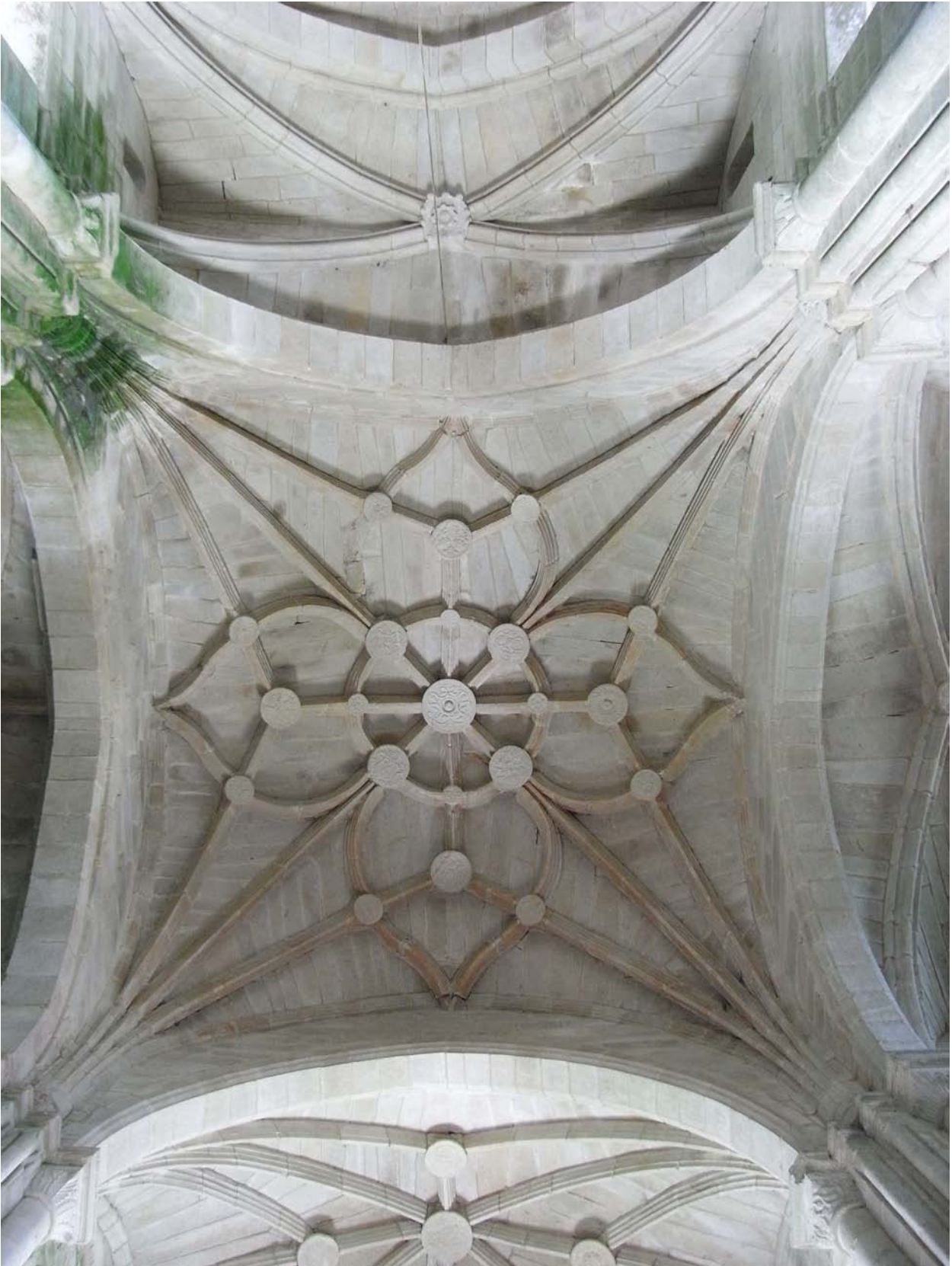


Cata en el muro adyacente al machón, al nivel del coro, que muestra el relleno de escombros.



Estancia ciega, rellena de escombros. Arriba el estado en 2004. Abajo, Tras el hundimiento del paramento y el vaciado del escombros.

PRESBITERIO



Bóveda sobre el crucero de la iglesia.



Arriba, detalle del encuentro del tercelete y los combados en una clave, donde se aprecia que los tres nervios tienen dovelas separadas. Abajo, nervio hundido, que evidencia la construcción anterior.



Vistas del nervio hundido que muestran la unión deficiente con la clave, causante final del hundimiento.



Vistas adicionales del encuentro del nervio hundido con la clave.



Vistas adicionales del encuentro del nervio hundido con la clave.

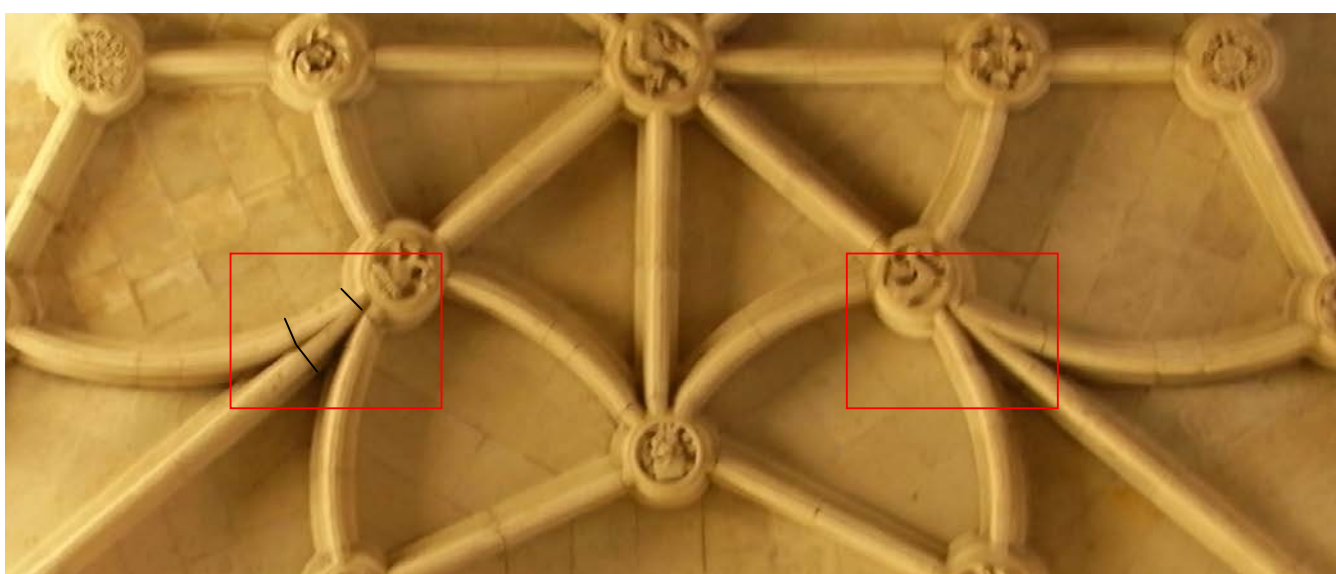


Foto de una bóveda de la catedral de Segovia que muestra como dos de los combados acometen a una única dovela (se han marcado en la izquierda), solución mucho más segura que la empleada en Melón.



Nervio combado en situación previa a un posible hundimiento; pequeñas deformaciones o vibraciones podrían causar el colapso por dislocación lateral.



Detalles del encuentro de los combados con la clave que prueban el cambio de traza durante la ejecución: el nervio acomete con una clara discontinuidad en la curvatura. La traza original parece que empleaba nervios rectos.



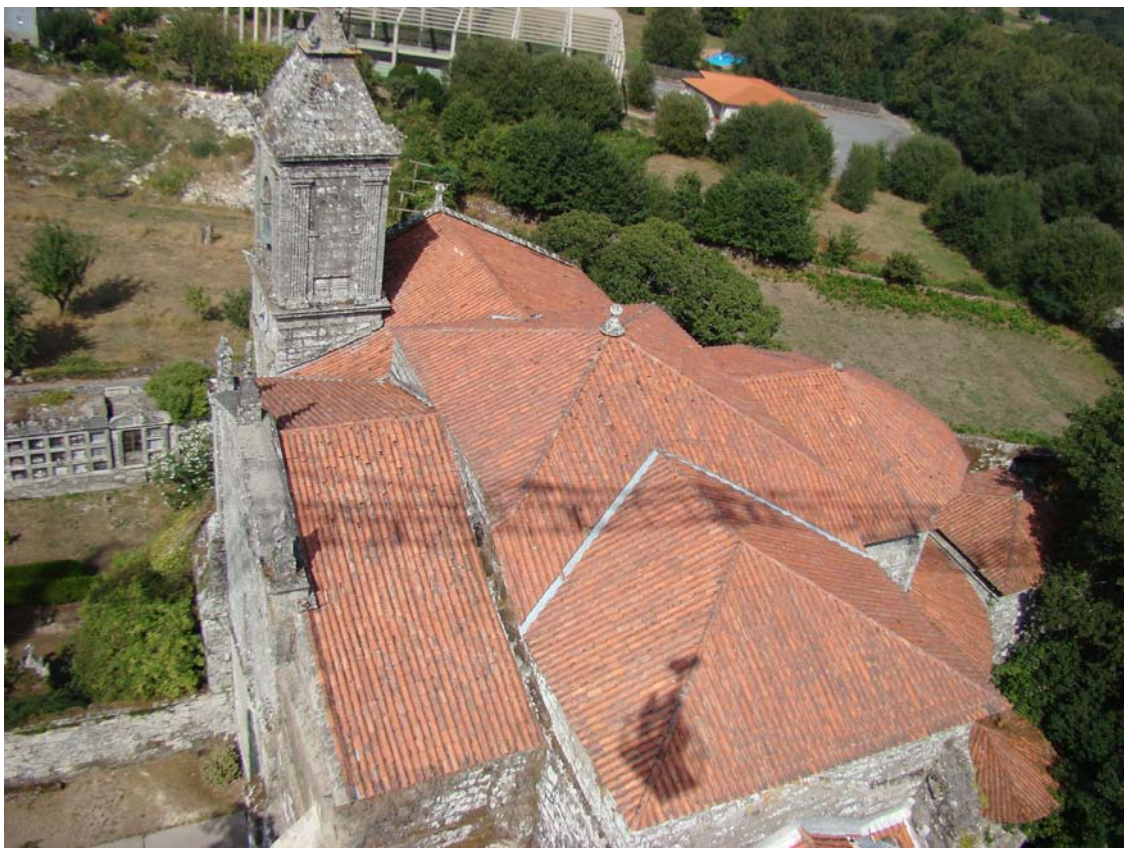
Detalle del encuentro de los combados con la clave (añadida) del arco formero de los pies de la iglesia. Nótese el deslizamiento hacia abajo, acompañado de rotura parcial, así como la distorsión de la plementería y las grapas de hierro (oxidado) entre las dovelas.



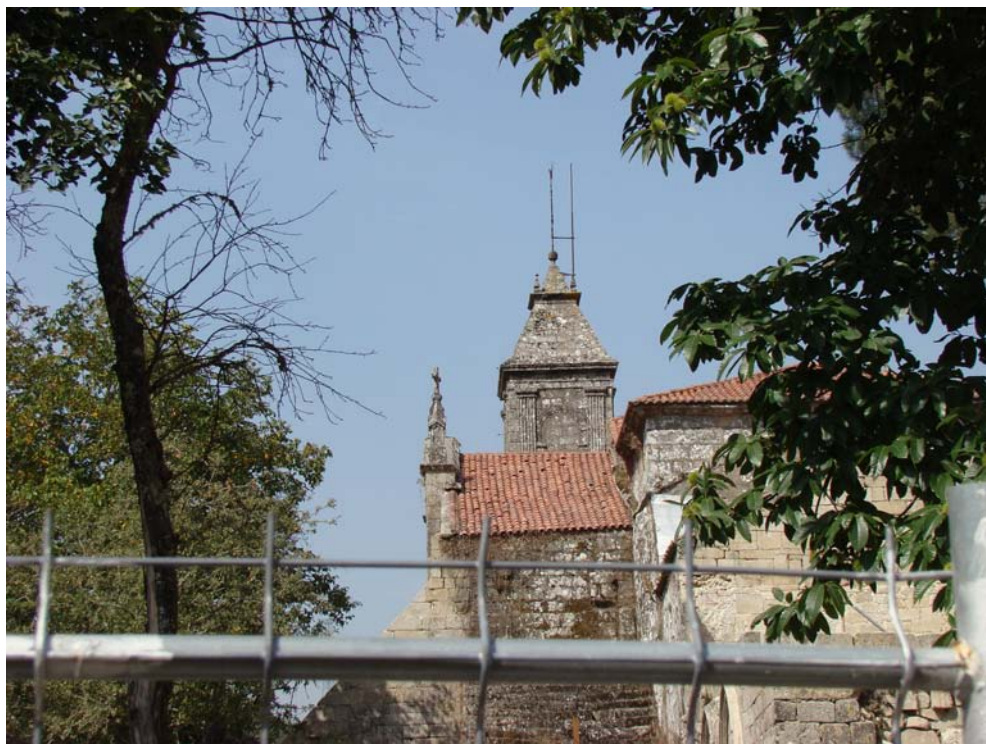
Arco escarzano de entibo. Arriba vista superior que muestra remate con piedras a tizón enterizas. Abajo, vista desde el suelo en que se aprecia la deformación del arco, con elevación de la clave.



Bóveda sobre el brazo derecho del crucero, mirando al altar.
Detalle que muestra grapa de hierro en nervio rampante.



Vistas aéreas de las cubiertas de la iglesia.



Rotura de tejas y entrada de agua sobre los pies de la iglesia, en la zona adyacente al machón.



Tabiquillos palomeros, recibidos con mortero de cemento, que soportan los rasillones sobre los que se reciben las tejas. Las tejas están también tomadas con mortero de cemento Portland.